

呼吸ガス分析から予測するランニングパフォーマンスの再検討

西城 克俊^{*1} 山本 正彦^{*2} 木村 瑞生^{*3}

Review of the running performance to predict by analysis of exhalation

Katsutoshi SAIJO^{*1} Masahiko YAMAMOTO^{*2} Mizuo KIMURA^{*3}

Abstract

The purpose of this study was to clarify the relations of ventilatory thresholds (VT) to marathoner's record of marathon race (42.195km), and to examine the possibility to predict finish time of marathon race by the VT. The values of VT were determined through an analysis of exhalation during the measurement of $\dot{V}O_{2max}$ on the 55 marathoner's (male: 40, female: 15) with variety of running abilities.

The $\dot{V}O_{2max}$ measurements were made by an acceleando running test on a treadmill. The angle of inclination the treadmill was set at 1.0% with the pace increased 10m per minute. The details of the procedure were as follow; the measurements were began with pace of 150 m/min for the subjects who run marathon within 3 hours and a half, whereas 120 m/min for the subjects who run slower. The paces were increased by 10 m/min and the measurements were carried on until when the subjects would not run anymore.

The results of this study showed that VT speed strongly correlated with each marathoner's records of marathon race (male: $r = 0.760$, female: $r = 0.748$).

These findings suggest that it is possible to predict each marathoner's finish time of marathon race by their VT speed.

I. はじめに

マラソンランナーに必要とされる体力要素として、有酸素性能力および無酸素性能力が挙げられる。特に有酸素性能力はマラソンランナーにとって非常に重要な生理的能力であり、競技成績と密接な関係を持っている。無酸素性能力はラストスパートなどのように競技中に発揮される場面こそ少ないが、勝敗を左右する要因であるといえる。

マラソンランナーの記録向上のために重要な要素である有酸素性能力として、最大酸素摂取量（以下 $\dot{V}O_{2max}$ ）がある。 $\dot{V}O_{2max}$ は、持久性を要する一流競技者（陸上競技の中長距

離種目、マラソン、クロスカントリースキーなど）の競技成績を予想するため、また、現状のパフォーマンスを知るための 1 つの指標として用いられてきた。

しかしながら、競技成績がある一定レベル以上のランナーにおいては、 $\dot{V}O_{2max}$ とマラソンの記録との間には有意な相関が認められなかったという報告もある^{4), 9), 12)}。これに対して、乳酸性閾値 (lactate threshold, 以下 LT)、換気性閾値 (ventilatory threshold, 以下 VT) などの無酸素性作業閾値 (anaerobic threshold, 以下 AT) 出現時の走速度は、マラソンの記録と有意な相関があることが明らかにされている^{8), 9)}。しかし、それらの先行研究^{8), 9)} は一流マ

^{*1} 東京工芸大学工学部基礎教育研究センター非常勤講師

^{*3} 東京工芸大学工学部基礎教育研究センター教授

2005 年 9 月 12 日 受理

^{*2} 東京工芸大学工学部基礎教育研究センター助手

ランソンランナーにおいてであり、市民ランナーにおいては明らかにされていない。

そこで本研究では、マラソンの走力が異なる市民ランナー55名(男性40名、女性15名)を対象にランニング負荷テストを行った。その結果から $\dot{V}O_{2max}$ 、VTを割り出し、市民ランナーのマラソン記録を予測できるかを検討した。

II. 方法

i. 対象

被験者は、マラソンを過去1年間に完走した市民ランナー55名(男性40名、女性15名)とした。被験者の平均年齢、平均身長、平均体重、平均記録、被験者のマラソン記録に該当するマラソン平均走速度を表1に示した。被験者には、予め本研究の目的、測定内容・方法を説明し、理解・承諾を得て実施した。

ii. 測定方法

本研究では、トレッドミルを用いた漸増負荷ランニングテストを実施した。1分毎に速度を10m/minずつ上昇させ、傾斜度を1.0%に設定した。測定プロトコルをマラソンタイム3時間30分以内の被験者に対しては150m/minから、それ以上の被験者に対しては120m/minから開始し、走行が出来なくなるまで継続した。呼気ガス呼吸代謝測定装置「VO2000」

(Medical Graphics Corporation 社製)を用いて測定を行った。

表1 各被験者の身体特性(男女別)

	身長	体重	年齢	自己記録	平均速度
	(cm)	(kg)	(yrs)	(hour:min:sec)	(m/min)
男性(40名)					
mean	170.4	61.7	36.0	3:21'48"	220
±SD	5.5	6.0	7.3	39'59"	38
女性(15名)					
mean	161.6	51.7	36.0	3:11'11"	220
±SD	1.1	5.7	5.6	18'58"	22

iii. 測定項目

測定項目は、以下の6項目である。

- 1) 最大酸素摂取量($\dot{V}O_{2max}$)
- 2) $\dot{V}O_{2max}$ 出現時の走速度(以下 $\dot{V}O_2$ 速度)
- 3) 換気性閾値(ventilatory threshold; VT)
- 4) VT出現時の走速度(以下VT速度)
- 5) 主観的運動強度(rate of perceived exertion; RPE)¹⁾(表2)
- 6) 心拍数(heart rate, 以下HR)

III. 結果

本研究の測定結果を男女別の平均値と標準偏差を表3に示した。また、マラソンの平均速度とVT速度、 $\dot{V}O_2$ 速度、および $\dot{V}O_{2max}$ との関係を図1、図2、そして、図3に示した。

VT速度は、男性で226±29m/min、女性で225±24m/minとほぼ同値を示した。これらの速度とマラソンの平均速度との関係を見ると、男性、女性ともに強い関係が見られた(図1、男性:r=0.760, p<0.01. 女性:r=0.748, p<0.01)。その際のHRおよびRPEは、それぞれ男性で159±16拍/分、13±1、女性で155±17拍/分、14±2であった。HRにおいては、平均年齢から算出した最大心拍数から考えると男女とも

表2 主観的運動強度(RPE)

RPE(主観的運動強度)		
20		
19	...	非常にきつい
18		
17	...	かなりきつい
16		
15	...	きつい
14		
13	...	ややきつい
12		
11	...	楽である
10		
9	...	かなり楽
8		
7	...	非常に楽
6		

表3 各項目間の平均値と標準偏差 (男女別)

	$\dot{V}O_{2\max}$	$\dot{V}O_2$ 速度	平均速度	VT 速度	$\dot{V}O_2$ HR	$\dot{V}O_2$ RPE	VT HR	VT RPE
	(ml/kg/min)	(m/min)	(m/min)	(m/min)	(拍/分)		(拍/分)	
男性(40名)								
mean	63.8	285	218	226	181	18	159	13
±SD	6.7	27	38	29	16	2	16	1
女性(15名)								
mean	60.8	273	224	225	181	19	155	14
±SD	8.4	19	22	24	11	1	17	2

に約 80%のレベルであった。RPE は、13「ややきつい」の前後の値であった。

$\dot{V}O_2$ 速度は、男性で $285 \pm 27 \text{ m/min}$ 、女性で $273 \pm 19 \text{ m/min}$ であった。マラソンの平均速度との関係を見ると、男女ともに低い相関係数であった(男性: $r=0.480$, N.S. 女性: $r=0.288$ N.S.)。

$\dot{V}O_{2\max}$ は、男性で $63.8 \pm 6.7 \text{ ml/kg/min}$ 、女性では $60.8 \pm 8.4 \text{ ml/kg/min}$ であった。マラソンの平均速度との関係を見ると、男女ともに低い相関係数であった(男性: $r=0.414$ N.S. 女性: $r=0.516$ N.S.)。 $\dot{V}O_{2\max}$ 時の HR および RPE は、男性で 181 ± 16 拍/分、 18 ± 2 、女性で 181 ± 11

拍/分、 19 ± 1 であった。男女ともに平均年齢から算出した最大心拍数付近の値であった。また、RPE も 17「かなりきつい」から 19「非常にきつい」の間の値であった。

IV. 考察

本研究で行ったランニング負荷テストは、ランナーのコンディションチェック、および、これまで実施してきたトレーニングの評価と効果を確認するねらいがある。テストの結果は、各ランナーのパフォーマンス向上に役立つものであろう。テストは、被験者が exhaustion に達するまで走る最大での測定である。被験

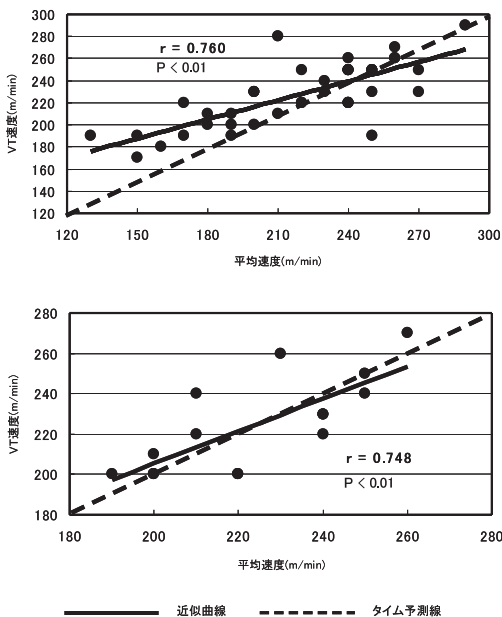


図1 マラソン平均速度とVT速度との関係
(上: 男性, 下: 女性)

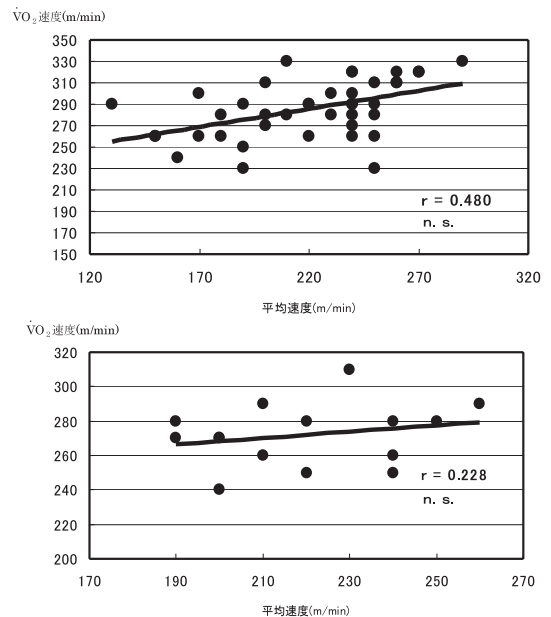


図2 マラソン平均速度と $\dot{V}O_2$ 速度との関係
(上: 男性, 下: 女性)

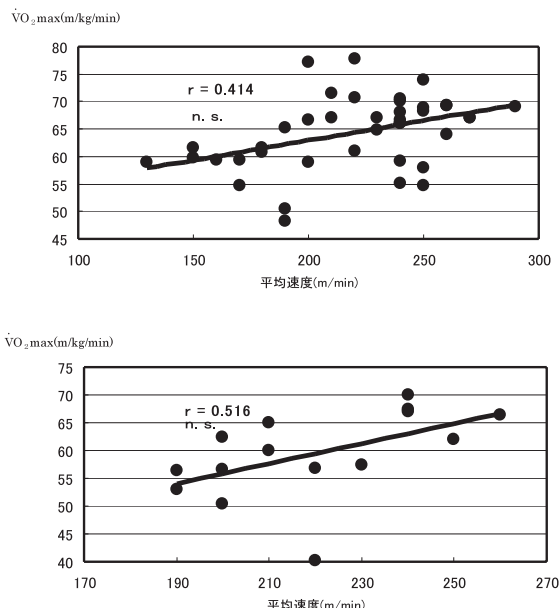


図3 マラソン平均速度と $\dot{V}O_{2max}$ との関係
(上: 男性, 下: 女性)

者は, HR および RPE の結果から明らかなように最大運動に至ったと推察される。

マラソンの特徴は, $\dot{V}O_{2max}$ に達するような最大運動ではなく^{4), 8), 9)}, AT 付近の運動強度で行う最大下運動である。また, 一流ランナーの多くがほぼ AT 出現時の走速度, あるいはやや AT より速い走速度でマラソンを走行していると報告されている^{8), 9)}。したがって測定では, 最大下を評価する意味が大きい。

本研究の被験者において, マラソンの平均速度と VT 速度との間に強い関係が見られた (図1 男性: $r=0.760$, $p<0.001$. 女性: $r=0.748$, $p<0.001$)。これは, 先行研究^{8), 9)}で報告されている一流ランナーの結果と同様の結果を示した。 $\dot{V}O_2$ 速度や $\dot{V}O_{2max}$ とは相関関係がなかったこと (図2, 図3) から, 市民ランナーにおいて, 一流ランナー同様, 十分 VT 速度でマラソンの記録を予想できると考えられる。

先行研究では, VT 速度でマラソンを走ると多くが報告している。本研究の被験者は, 男性では VT 速度か, やや速い走速度で走行しており, 女性ではほぼ VT 速度で走行していることになる (図1)。このことからマラソンの

走速度が VT 未満であった場合, VT 速度付近での持続走等のトレーニングが不足していることが予想できる。さらに男性では, VT 速度よりもやや速い走速度でも走り通すことが予測できるため, 女性よりも VT を超えた速度でトレーニングすることが大事であろう。

ところで, 本研究の結果はマラソンは VT 付近で走るという先行研究を肯定する示唆が得られた。レース前のコンディションのチェック, さらにはトレーニング効果を検証するのに, 今回のようなランニングテストは活用できるものと思われる。

本研究の結果を元に, 市民ランナーがトレーニングを行う際, 測定で明確になった各自の VT 速度での持続走トレーニングを継続的に実施することで AT を改善させ, マラソンの記録向上につながると考えられる。AT は, その水準でのトレーニングを継続的に行っていくことで徐々に改善され, より高いスピードにおける筋内の酸化能力を高め, 少ない換気量で運動できるような状態になる^{6), 7)}。しかし日々のトレーニングでペースを確認できるような平坦なコース, あるいは距離が明確になっている場所でのトレーニングを頻繁に実施することができる市民ランナーは多くないと思われる。そこで有効な方法として, 今回測定項目の一つにある RPE の活用が考えられる。先行研究^{2), 3), 5), 10), 11)}では, VT の出現時の RPE が 13 であること, さらにはトレーニングや性別, 年齢の影響を受けないことなどが知られている。本研究では VT 出現時の RPE は男性 13 ± 1 , 女性 14 ± 2 であり, 先行研究を支持する結果であった。明確なペースでトレーニングできない場合には, RPE を 13 (=「ややきつい」) に設定し走ることが有効であろう。

本研究の結果は先行研究と合わせ, 一流ランナーでも市民ランナーでもマラソンは VT 付近で走ることが明らかになった。この結果から, VT を高めることがマラソンの記録向上につながるものと考えられる。したがって, 本研究のような測定は VT を知ることが可能であり, マラソンの記録を予測する資料となり得るものであった。

V. まとめ

本研究ではマラソンの走力が異なる市民ランナー55名（男性40名，女性15名）にランニングテストを行い，VTを求めた．その結果からマラソンの記録を予測することが可能か検討した．その結果得られた示唆は以下の通りである．

換気性閾値（VT）出現時の走速度とマラソンの平均速度との間に強い相関が見られた．このことから，各個人のマラソンの記録は，VTによって予測することができた．

VI. 引用・参考文献

- 1) Borg,G.A.V. (1973) Perceived exertion : A note on "history" and methods. *Med Sci Sports*, 5 : 90-93.
- 2) Boutcher,SH. Seip,RL. Hetzler,RK. Pierce,EF. Snead,D. Weltman,A.(1989) The effects of specificity of training on rating of perceived exertion at the lactate threshold. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol*, 59 : 365-369.
- 3) Dunbar,CC. Goris,C. Michielli,DW. Kalinski,MI. (1994) Accuracy and reproducibility of an exercise prescription based on Ratings of Perceived Exertion for treadmill and cycle ergometer exercise. *Percept Mot Skills*, 78 : 1335-1344.
- 4) 江橋博 (1987) 一流マラソン選手の体力特性. *J J Sports Sci*, 6-11 : 703-711.
- 5) Hetzler,RK. Seip,RL. Boutcher,SH. Pierce,E. Snead,D. Weltman,A. (1991) Effect of exercise modality on ratings of perceived exertion at various lactate concentrations. *Med Sci Sports Exerc*, 23 : 88-92.
- 6) 八田秀雄 (2001) 乳酸を活かしたスポーツトレーニング. 講談社.
- 7) 八田秀雄 (2004) エネルギー代謝を活かしたスポーツトレーニング. 講談社.
- 8) 平木場浩二編 (2004) 長距離走者の生理科学-生理機能特性とトレーニングの科学的背景-. 杏林書院.
- 9) 加賀谷熙彦, 吉田博幸 (1989) マラソンランナーの最大酸素摂取量と AT. *J J Sports Sci*, 8-11 : 718-726.
- 10) Seip,RL. Snead,D. Pierce,EF. Stein,P. Weltman,A. (1991) Perceptual responses and blood lactate concentration : effect of training state. *Med Sci Sports Exerc*, 23 : 80-87.
- 11) Steed,J. Gaesser,GA. Weltman,A. (1994) Rating of perceived exertion and blood lactate concentration during submaximal running. *Med Sci Sports Exerc*, 26 : 797-803.
- 12) 山地啓司, 池田岳子, 横山泰行, 松井秀治 (1990) 最大酸素摂取量から陸上中長距離走, マラソンレースの競技記録を占うことは可能か. *ランニング学研究*, 1 : 7-14.
- 13) 山地啓司 (2001) 改訂最大酸素摂取量の科学. 杏林書院.